

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

VODNÍ TURBÍNY A JEJICH VYUŽITÍ

WATER TURBINES AND THEM USE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL MACHÁT

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DANIEL HIMR

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce pojednává o problematice vodních turbín. Obsahuje základní rozdělení vodních turbín, popis jejich činností a užití. Dále je zde popsána konstrukce tří nejpoužívanějších turbín a to Francisovy, Kaplanovy a Peltonovy turbíny. Součástí jsou také základní vztahy pro výběr typu turbíny v závislosti na otáčkách, spádu a průtoku.

Klíčová slova:

Vodní energie, vodní turbína, Francisova turbína, Kaplanova turbína, Peltonova turbína, oběžné kolo

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the problems of water turbines. It contains basic division of water turbines, description of their operations and possibilities of their utilizations. Further this thesis focuses on description of the three most used turbines i.e. Francis's, Kaplan's and Pelton's turbines. As one component of this work there are also mentioned essential relations required for selection of proper type of turbine in dependency on speed, slope and flow rate.

Key words:

Water energy, water turbine, Francis's turbine, Kaplan's turbine, Pelton's turbine, action wheel

Bibliografická citace

MACHÁT, P. *Vodní turbíny a jejich využití*. Brno: Vysoké učení technické a Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 32 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Daniel Himr.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 20. Května 2008

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Úvodem této diplomové práce bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli potřebné informace k dané problematice, zvláště pak děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Danielovi Himrovi za cenné rady, připomínky a náměty, čímž mi významně pomohl ke zpracování zadaného tématu.

V Brně dne 20. Května 2008

.....
podpis

OBSAH:

1. Úvod	15
1.1 Vodní energie	15
1.2 Historie	15
1.3 Charakteristika vodních turbín	16
2. Rozdělení vodních turbín	16
2.1 Podle tlaku	16
2.2 Podle polohy oběžného kola	16
2.3 Podle orientace proudění	17
2.4 Podle tvaru oběžného kola	18
3. Základní vztahy charakterizující turbínu	18
3.1 Jednotkové otáčky	19
3.2 Jednotkový průtok	19
3.3 Měrné (specifické) otáčky	20
4. Charakteristika jednotlivých turbín	20
4.1 Francisova turbína	20
4.1.1 Úvod	20
4.1.2 Princip činnosti	20
4.1.3 Užití	21
4.1.4 Příklady vodních děl	21
4.2 Kaplanova turbína	22
4.2.1 Úvod	22
4.2.2 Princip činnosti	22
4.2.3 Užití	22
4.2.4 Příklady vodních děl	23
4.3 Peltonova turbína	24
4.3.1 Úvod	24
4.3.2 Princip činnosti	24
4.3.3 Užití	25
4.3.4 Příklady vodních děl	25
4.4 Vírová turbína	25
4.4.1 Úvod	25
4.4.2 Princip činnosti	26
4.4.3 Užití	26
4.4.4 Příklady vodních děl	26

5. Konstrukce vodních turbín	27
5.1 Francisova turbína	27
5.1.1 Oběžné kolo	27
5.1.2 Rozváděcí ústrojí	28
5.1.3 Spirála	28
5.1.4 Sací trouba	29
5.1.5 Příklady konstrukcí	29
5.2 Kaplanova turbína	30
5.2.1 Oběžné kolo	30
5.2.2 Rozváděcí ústrojí	31
5.2.3 Zajištění proti proběhnutí	31
5.2.4 Příklady konstrukcí	31
5.3 Peltonova turbína	32
5.3.1 Řešení rozvodného aparátu	32
5.3.1.1 Deflektor a deviátor	32
5.3.1.2 Dýza a jehla	33
5.3.2 Skříň	33
5.3.3 Oběžné kolo	33
5.3.4 Příklady konstrukcí	34
6. Závěr	36
7. Seznam použitých zdrojů	37
8. Seznam použitých zkratk, symbolů a veličin	38

1. Úvod

1.1 Vodní energie

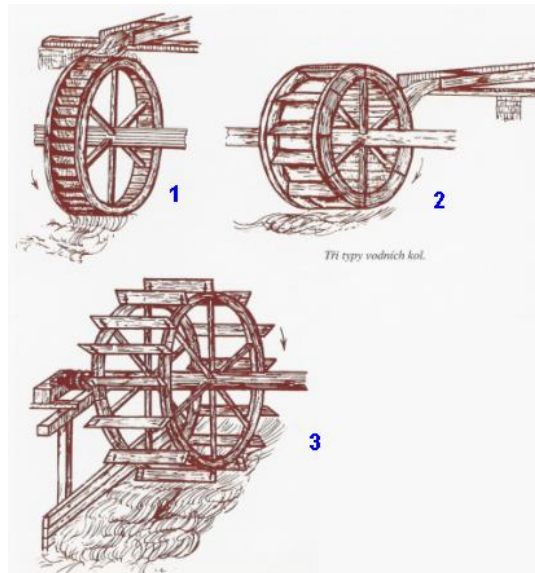
Při využívání energie vodních toků se voda dostává z poloh vyšších (z míst s vyšší energií) do poloh nižších (do míst s nižší energií) a její původně potenciální energie se mění v kinetickou energii na hřídeli stroje. Z míst kde je nejnižší potenciální energie (moře) se voda vrací opět na místa vysoké potenciální energie, a to působením slunečního tepla, které udržuje koloběh vody v přírodě.

1.2 Historie

Původně se využívalo vodní energie vodními koly, jejichž původ je velmi starý. Podle neurčitých pramenů bylo vodní lopatkové kolo vynalezeno Ctébiem již r. 135 před Kristem. Na počátku křesťanské éry se začalo používat vodního kola k pohonu mlýnů, nejdříve v blízkém Orientu. V letech 260-300 n. l. se setkáváme již s úplným velkomlýnem ve Francii u Arles, který využíval spádu 18m ve dvou paralelních kanálech s celkovým počtem 18- ti vodními koly. [1] Dověšení rozvoje dynamiky ideální kapaliny nastal po r. 1750 zásluhou Leonarda Eulera

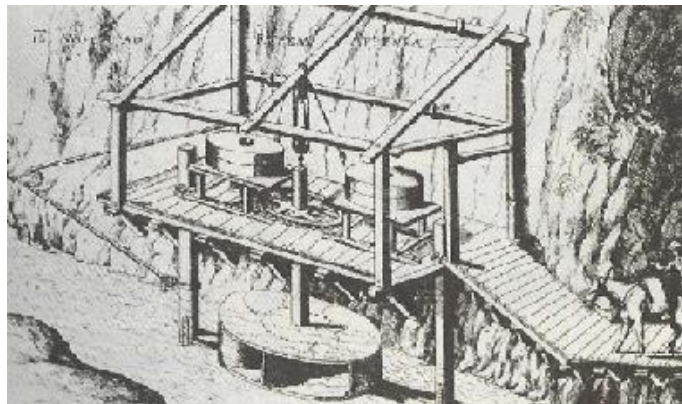
(švýcarského původu, 1707-1783)

a také Daniela Bernoulliho (holandského původu, 1700-1782), kteří působili v Petrohradě jako členové Ruské akademie věd, kde položili teoretické základy pro stavbu vodních turbín a čerpadel. Vodní turbíny byly uvedeny do praxe začátkem 19. století, kdy je realizovali Francouzi Bourdin a Fourneyron, který zkonstruoval a uvedl v r. 1835 do provozu první centrifugální (odstředivou) turbínu pro spád: $H=108$ m, průtok: $Q=35$ l/s, otáčky: $n=2300$ 1/min a výkon: $P=40$ kW. Tato turbína pracovala plných 30 let až do r. 1865. Z později vyvinutých energetických strojů je nutné jmenovat vodní turbíny pro střední a vysoké spády Američanů J.B.Francis (v r. 1849) a L.A.Peltona (v r. 1880) a také profesora německé vysoké školy technické v Brně Victora Kaplana (v r. 1919), který patentoval axiální přetlakovou turbínu pro nízké spády a vyšší průtoky. [2]



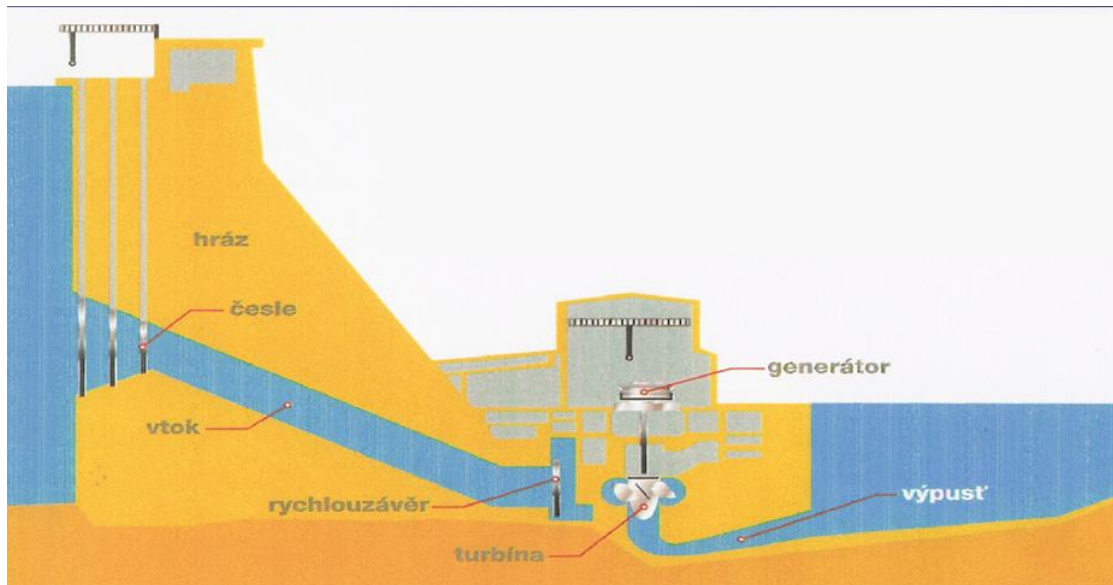
Obr. 1.1 Typy vodních kol

Obr 1.2
Vodní kolo
s vertikální
hřídelí pro
pohon
mlýnských
kamenů



1.3 Charakteristika vodních turbín

Vodní turbína je točivý mechanický stroj, který přeměňuje kinetickou či tlakovou energii vody na mechanickou energii. Předchůdcem vodní turbíny bylo vodní kolo (známé jako mlýnské kolo). Spolu s elektrickým generátorem resp. alternátorem spojeným s turbínou je hlavní součástí vodních elektráren. Generátor převádí mechanickou energii turbíny na elektrickou. [3]



Obr. 1.3 Schéma vodní elektrárny

2. Rozdělení vodních turbín

2.1 Podle tlaku

Voda protéká nejdříve pevnými rozváděcími kanály, kde se buď celá tlaková energie, nebo jen její část mění v energii pohybovou. Voda vtéká do oběžného kola z rozváděcích kanálů. Jejich úkolem je přivést vodu ve správném směru na lopatky rotoru, aby se zajistil tzv. bezrázový vstup. Tlakem proudu na zakřivené lopatky otáčí oběžným kolem.

Nemění-li se tlak vody při průtoku oběžnými kanály, tzn. když při výtoku z oběžného kola je tlak stejný jako při vtoku, nazýváme takové turbíny **rovnotlaké**. Představitelem rovnotlakých turbín je Peltonova turbína.

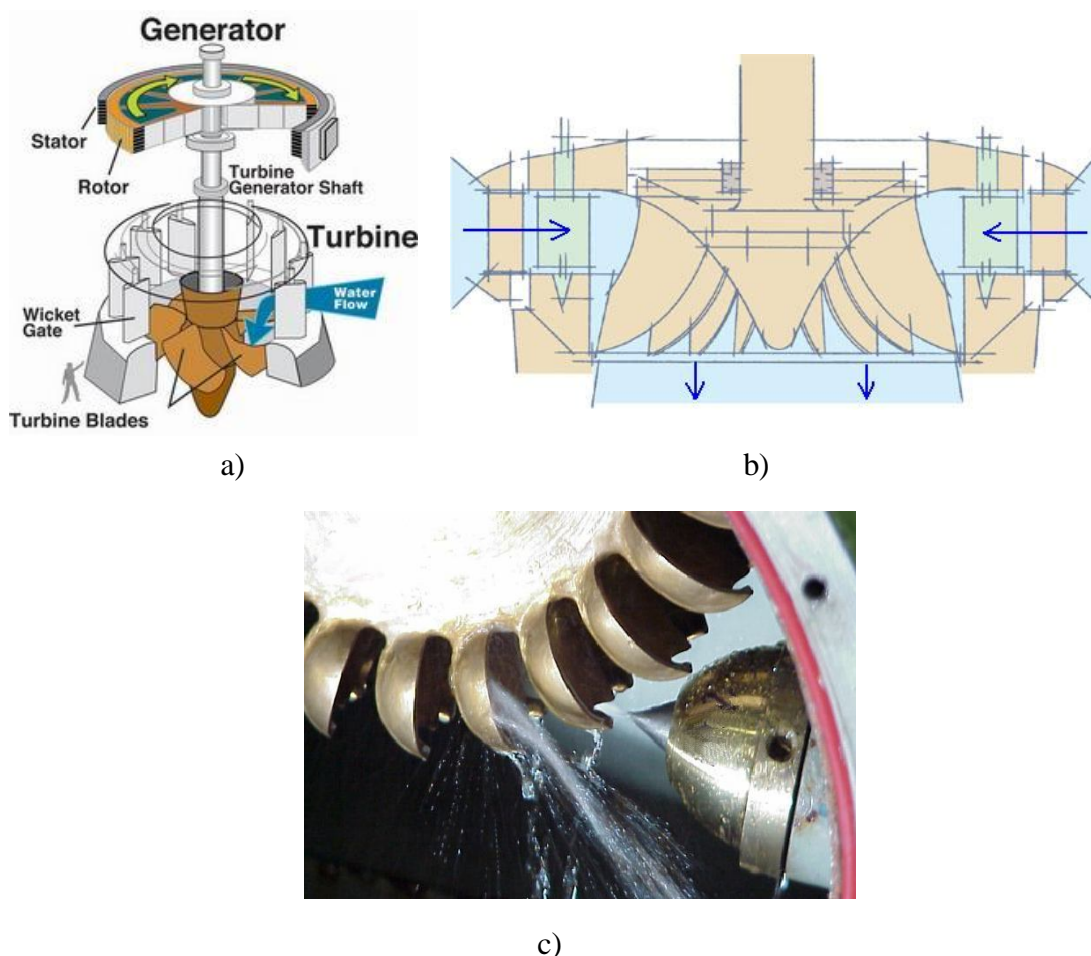
Jestliže se v rozváděcích kanálech mění pouze část tlakové energie v pohybovou, má voda po výtoku z rozváděcích lopatek ještě hydrostatický tlak. Tato zbývající část tlakové energie se při průchodu oběžnými kanály mění v pohybovou, takže směrem k výtoku hydrostatický tlak vody ubývá. Poněvadž voda protéká oběžnými kanály pod přetlakem, nazýváme tyto turbíny **přetlakové**. Představiteli přetlakových turbín jsou především turbíny Francisovy a Kaplanovy.

2.2 Podle polohy oběžného kola

Rozlišujeme uspořádání **horizontální** (vodorovné), **vertikální** (svislé) nebo **šikmé** (především u přímoproudých Kaplanových turbín).

2.3 Podle orientace proudění

Vodní Turbíny se dají také rozdělit podle směru, jakým přitéká a odtéká voda z běžného kola vzhledem k hřídeli turbíny. Protéká-li voda oběžným kolem rovnoběžně s osou rotace hřídele, jedná se o turbínu **axiální** (např. Kaplanova turbína, obr. 2.1a). Protéká-li voda oběžným kolem kolmo ke hřídeli, nazýváme tuto turbínu **radiální**. Mění-li se směr proudění v prostoru oběžného kola, tzn. vstupuje-li radiálně a vystupuje axiálně, nazýváme turbínu **radiálně-axiální** (např. Francisova turbína, obr. 2.1b). Turbína, u které voda proudí oběžným kolem ve směru šikmém k ose hřídele (většinou pod úhlem:45°), se nazývá **diagonální** (např. moderní přetlaková turbína Dériazova). Jestliže voda proudí z dýzy (s regulační jehlou) na oběžné kolo v tečném směru, jde o turbínu **Tangenciální** (např. moderní rovnotlaká Peltonova turbína, obr. 2.1c). Radiální turbína může mít rozváděcí kolo buď vně oběžného kola, takže voda teče směrem dostředivým a turbínu nazýváme **centripetální**, čili s vnějším vtokem. Nebo je rozváděcí kolo uvnitř oběžného kola, a pak mluvíme o turbíně **centrifugální** neboli s vnitřním vtokem. Voda může protékat rozváděcím i oběžným kolem směrem šikmo k hřídeli, a takovou turbínu nazýváme kuželovou neboli **kónickou**. Vtéká-li voda do oběžného kola na celém obvodu, nazýváme ji turbínou s **plným vtokem**. Vtéká-li voda jen na části obvodu, nazýváme ji turbínou s **částečným vtokem** nebo turbínou parciální. Částečný vtok se volí jen u rovnotlakých turbín, protože u přetlakové turbíny s částečným vtokem by měly příliš špatnou účinnost.



Obr. 2.1 Proudění kapaliny oběžným kolem

2.4 Podle tvaru oběžného kola

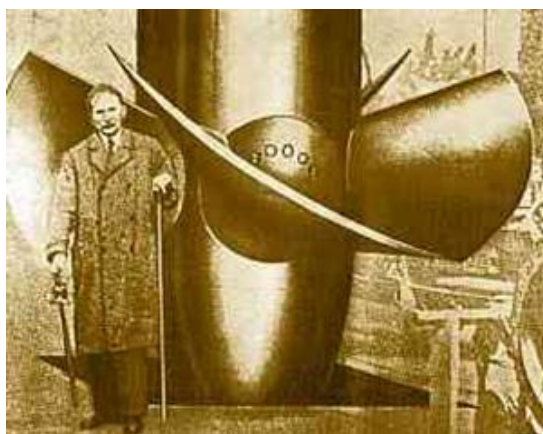
Změna tvaru oběžného kola vychází ze změny rychloběžnosti, dané hodnotou měrných (specifických) otáček. Současná řešení vodních turbín vycházejí ze čtyř základních druhů. V pořadí podle rychloběžnosti od nejvyšší po nejnižší: turbíny Vírové (obr. 2.2 a) Kaplanovy (obr. 2.2 c), Francisovy (obr. 2.2 b) a Peltonovy (obr. 2.2 d), kterými lze pokrýt celou provozní spádovou a průtokovou oblast, přicházející v úvahu pro energetické využití ve vodních elektrárnách.



a)



b)



c)



d)

Obr. 2.2 Tvary oběžného kola

3. Základní vztahy charakterizující turbínu

Aby bylo předem zaručeno, že vyrobená turbína bude vyhovovat maximálním průtokem (hltností) i účinností, přesvědčuje se předem o vlastnostech turbíny modelovou zkouškou, která je založena na principu hydraulické podobnosti. Zhotoví se geometricky podobná turbína menších rozměrů (tzv. modelová turbína), která se poté zkouší na zkušební stanici. Tyto výsledky se pomocí následujících vzorců přepočtou na průměr a spád potřebné turbíny.[1]

3.1 Jednotkové otáčky

Vycházíme ze vztahu hydraulické podobnosti:
$$\frac{n'}{n} = \sqrt{\frac{H'}{H}} = \frac{D}{D'} \quad (3.1)$$

Kde n a n' jsou otáčky turbín, H , H' jsou spády na turbínu, Q , Q' jsou průtoky a D , D' jsou průměry turbín.

Abychom získali *Jednotkové hodnoty*, musíme hodnoty postupně přepočítat na spád 1 m a na průměr 1 m. Tyto hodnoty se hodí ke grafickému znázornění vlastností jednotlivých druhů turbín.

Přepočet otáček na charakteristický průměr 1 m uskutečníme pomocí vztahu:

$$\frac{D'}{D} = \frac{n}{n'} \quad (3.2)$$

Položíme $D' = 1 \text{ m}$ a dostaneme:

$$n' = nD \quad (3.3)$$

Přepočteme otáčky na spád 1 m ($H_1 = 1 \text{ m}$):

$$n_1 = \frac{n}{\sqrt{H}} \quad (3.4)$$

Dosadíme do tohoto vztahu $n = n'$ a dostaneme výraz pro jednotkové otáčky:

$$n'_{11} = \frac{n'}{\sqrt{H}} \quad \text{neboli} \quad n'_{11} = \frac{nD}{\sqrt{H}} \quad (3.5)$$

3.2 Jednotkový průtok

Vycházíme ze vztahu:
$$\frac{D}{D'} = \sqrt{\frac{Q}{Q'}} \quad (3.6)$$

Dosadíme $D' = 1 \text{ m}$ a dostaneme:

$$Q' = \frac{Q}{D^2} \quad (3.7)$$

Pro přepočítání průtoku na spád 1 m použijeme vztahu:
$$\frac{Q'}{Q} = \sqrt{\frac{H'}{H}} \quad (3.8)$$

Položíme $H' = 1 \text{ m}$:

$$Q_1 = \frac{Q}{\sqrt{H}} \quad (3.9)$$

Dosadíme do tohoto vztahu $Q = Q'$ a dostaneme výraz pro jednotkový průtok:

$$Q'_{11} = \frac{Q'}{\sqrt{H}} \quad \text{neboli} \quad Q'_{11} = \frac{Q}{D^2 \sqrt{H}} \quad (3.10)$$

3.3 Měrné (specifické) otáčky

Měrné otáčky n_s turbíny jsou otáčky geometricky podobné turbíny při spádu 1 m, má-li tato turbína takový rozměr, aby při spádu 1 m dávala zároveň výkon 1 kW.

Opět vycházíme ze vztahu geometrické podobnosti:
$$\frac{n_s}{n_1} = \sqrt{\frac{N_1}{N_s}} \quad (3.11)$$

Otáčky pro spád 1 m jsme označili n_1 a výkon pro tento spád N_1 . Měrné otáčky jsme označili n_s a výkon při měrných otáčkách N_s .

Jelikož výkon při měrných otáčkách je 1kW můžeme psát:

$$\frac{n_s}{n_1} = \sqrt{\frac{N_1}{1}} \quad (3.12)$$

Odtud tedy pro měrné otáčky dostaneme vztah:

$$n_s = n_1 \sqrt{N_1} \quad (3.13)$$

Dosadíme-li za n_1 podle výše uvedené rovnice dostaneme:

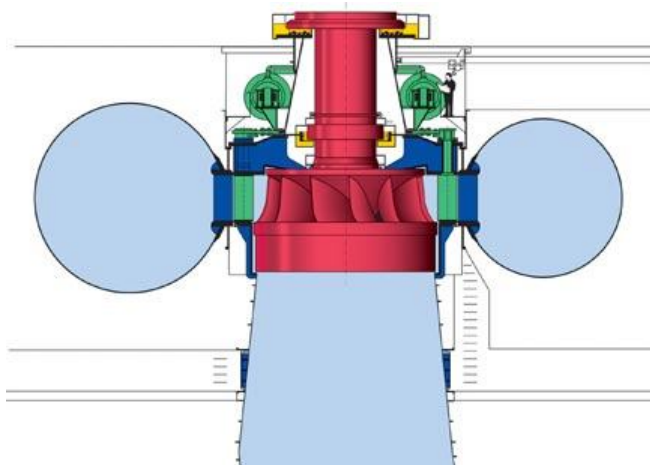
$$n_s = \frac{n}{\sqrt{H}} \sqrt{N_1} \quad (3.14)$$

4. Charakteristika jednotlivých turbín

4.1 Francisova turbína

4.1.1 Úvod

Francisova turbína, vyvinutá Jamesem B. Francisem, patří mezi přetlakové turbíny a jsou jedny z nejpoužívanějších turbín. V r. 1848 James B. Francis vylepšil předchozí turbíny a podařilo se mu dosáhnout celkové 90% efektivity.[3]



Obr. 4.1 Francisova turbína

4.1.2 Princip činnosti

Francisova turbína je přetlaková, což znamená, že pracovní kapalina mění tlak během své cesty strojem. Přitom odevzdává svou energii. Pro udržení toku vody jsou nutné rozváděcí lopatky. Rotor turbíny se nachází mezi vysokotlakým přívodem a nízkotlakou savkou většinou v patě přehrady. Vstupní potrubí se postupně zužuje. Pomocí rozváděcích lopatek (automaticky regulovaných) je voda směřována na rotor. Jak voda prochází rotorem, její rotační rychlost se zmenšuje a zároveň odevzdává energii rotoru. Tento efekt (spolu s působením samotného vysokého tlaku vody) přispívá k efektivitě turbíny. Výstup z turbíny je savka, která má kuželovitě rozšiřující se tvar, díky kterému se snižuje rychlost vody za turbínou, což s hmotností celého vodního sloupce v ní vytváří podtlak přenášející se na odtokovou stranu oběžného kola. [3]

4.1.3 Užití

Francisova turbína je vhodná v místech, kde lze zajistit konstantní rozdíl hladin i průtok, na který je turbína navrhována. Používá se pro střední a větší průtoky a spády. Jsou časté zejména u přečerpávacích elektráren.

4.1.4 Příklady vodních děl

Francisova turbína je nainstalovaná na největší vodní elektrárně na světě Itaipu. (obr. 4.2) Tato elektrárna leží na řece Parana mezi Brazílií a Paraguayí o celkovém počtu 20 turbín o výkonu 700 MW a průměru rotoru turbíny 8,6 m. Tedy maximální výkon elektrárny je 14000 MW, a průtočná kapacita je 62200 m³/s.



Obr. 4.2 Elektrárna Itaipu

Dalšími významnými uživateli jsou zejména přečerpávací elektrárny. Mezi ně patří Dlouhé Stráně na říčce Divoká Desná v pohoří Jeseníky. Zde jsou nainstalovány 2 turbíny o průměru rotoru 4,54 m. Celkový výkon elektrárny je 650 MW. Dále je to například elektrárna Lipno I na řece Vltava v České republice. Obsahuje dvě turbíny o výkonu 60 MW a průtoku 46 m³/s.

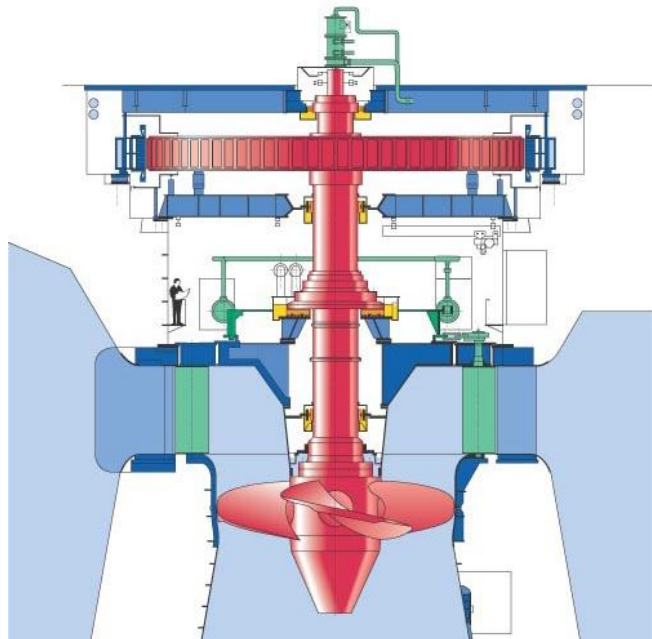


Obr. 4.3 Přečerpávací elektrárna Dlouhé Stráně

4.2 Kaplanova turbína

4.2.1 Úvod

Turbínu vynalezl profesor brněnské techniky Viktor Kaplan. V letech 1910-1912 proto navrhl na základě svých úvah nový tvar oběžného kola. První prototyp Kaplanovy turbíny byl vyroben brněnskou firmou Ignác Storek v r. 1919. Začátkem jejího úspěchu byla úspěšná montáž tehdy největší turbíny světa ve švédském Jlla Edet v r. 1925.



Obr. 4.4 Kaplanova turbína

4.2.2 Princip činnosti

Kaplanova turbína se od svého předchůdce, Francisovy turbíny, liší menším počtem lopatek, tvarem oběžného kola a především možností regulace výkonu náklonem lopatek oběžného i rozváděcího kola. Voda protéká oběžným kolem rovnoběžně s osou rotace.

4.2.3 Užití

Kaplanovy turbíny jsou nejvýhodnější pro velký průtok vody a malé spády - to znamená především pro elektrárny na přehradních jezerech velkých řek. Používá se pro spády od 1 do 70,5 m a průtoky 0,15 až několik desítek m³/s. Kaplanova turbína je přetlaková axiální turbína s velmi dobrou možností regulace. Toho se využívá především v místech, kde není možné zajistit stálý průtok nebo spád.

4.2.4 Příklady vodních děl

Vodní elektrárna Kníničky pod brněnskou přehradou v Brně-Bystrci byla koncipována jako špičkový zdroj, určený k vykrývání zvýšené spotřeby elektrické energie v čase ranních a večerních energetických špiček. Uvedena do provozu byla v r. 1941. Je osazena jedním vertikálním turbosoustrojím s Kaplanovou turbínou, vyrobenou firmou Storek. Turbína má sice maximální hltnost $22 \text{ m}^3/\text{sec.}$, ale optimálně pracuje při hltnosti $17\text{--}18 \text{ m}^3/\text{s}$. Instalovaný výkon elektrárny je 3100 kW a při maximálním spádu hladin je dosahován. [4]



Obr. 4.5 Vodní elektrárna Brno Kníničky

Další vodní elektrárna používající Kaplanovu turbínu je elektrárna Hněvkovice, která je součástí vltavské kaskády a byla postavena v souvislosti s výstavbou Jaderné elektrárny Temelín. Nádrž slouží jednak k využívání hydroenergetického potenciálu v pološpičkové vodní elektrárně a především jako rezervoár technologické vody pro areál temelínské elektrárny. V této elektrárně jsou instalována 2 soustrojí o instalovaném výkonu $2 \times 4,8 \text{ MW}$.

Dále je to pak průtočná elektrárna Lipno II s jedním soustrojím o výkonu $1,5 \text{ MW}$. Je nedílnou součástí elektrárny Lipno I a slouží zejména k vyrovnávání odtoku z této špičkové vodní elektrárny. Je vybavena Kaplanovou turbínou se spádem $10 - 4 \text{ m}$. [4]

Vodní elektrárna Orlík, která je stěžejním článkem vltavské kaskády pracuje také s Kaplanovými turbínami. Významně podílí na řízení celostátní energetické soustavy a na výrobě levné, ekologicky čisté, špičkové elektrické energie. Umožňuje to celkový výkon 364 MW , velmi rychlé a operativní najetí na plné zatížení za 128 s . V elektrárně jsou instalována 4 plně automatizovaná soustrojí s Kaplanovými turbínami pro spád $70,5 \text{ m}$. Mezi další patří například elektrárna Slapy se třemi turbínami o instalovaném výkonu $3 \times 48 \text{ MW}$. [4]

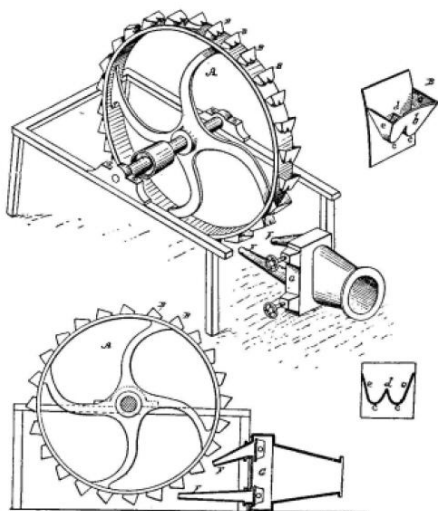


Obr. 4.6 Vodní elektrárna Orlík

4.3 Peltonova turbína

4.3.1 Úvod

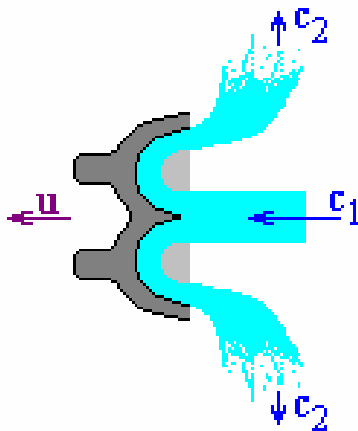
Peltonovu turbínu vynalezl Lester Allan Pelton (1829-1908) v roce 1880. Tvar této turbíny je podobný zdokonalenému vodnímu kolu, ale je výrazně účinnější. Při výrobě elektrické energie se její účinnost pohybuje okolo 90 procent.



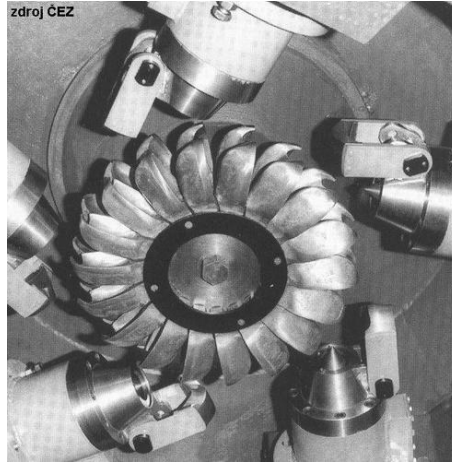
Obr. 4.7
Originální Peltonův patent

4.3.2 Princip činnosti

Voda je přiváděna k turbíně potrubím kruhového průřezu, které vede k jedné nebo více dýzám. V dýze kruhového průřezu se celý spád vody přetransformuje na pohybovou energii. Voda vstoupí tangenciálně do oběžného kola osazeného lžícovitými lopatkami. Břit uprostřed lopatek rozdělí paprsek na dvě poloviny a lžícovitý tvar lopatky se snaží otočit směr tekoucí vody zpět. Změna směru způsobí předání energie oběžnému kolu. Vzájemným souběhem rychlosti vody tekoucí po lopatce při současném otáčení oběžného kola dojde k tomu, že voda opouští lopatku na vnější straně s minimální zbytkovou rychlostí a volně odchází do obou stran z oběžného kola ven a padá do odpadu pod turbínou. [5] Průtok vody a tím i výkon turbíny se reguluje změnou výtokového průřezu dýzy zasouváním regulační jehly. K posuvu jehly se většinou používá servomotor. Rychlý zásah regulace – snížení výkonu – se provádí odkloněním vodního paprsku. [3]



Obr. 4.8 Poudění vody lopatkou



Obr. 4.9 Princip činnosti Peltonovy turbíny

4.3.3 Užití

Peltonovy turbíny se používají pro vysoký spád vody a malý průtok. Jsou vyráběny ve všech možných velikostech. Pro použití v energetice se využívá vertikální uložení a výkon až 200 MW. Nejmenší turbíny jsou veliké několik desítek centimetrů a používají se pro malé vodní elektrárny s velkým spádem. Rozsah použití je od 15 m až po 1800 m. [3] Výkon oběžného kola limituje pevnost lopatky, jejich upevňovacích šroubů a pevnost hřídele, jehož průměr je lépe případ od případu vypočítat. Pro větší spády, kdy může turbína dosahovat vysokých otáček je nutno při návrhu počítat se značnou odstředivou silou působící na lopatky. Větší průtok je nutné rozdělit na více strojů. [5]

4.3.4 Příklady vodních děl

Peltonova turbína je použita na přečerpávací vodní nádrži Třebušice. Spád na turbínu je 84 m a výkon 330 KW.

4.4 Vírová turbína

4.4.1 Úvod

Odbor fluidního inženýrství Victora Kaplana, Energetického ústavu FSI VUT v Brně navazuje na dlouhodobou tradici v konstrukci hydraulických strojů, kterou založil právě profesor Victor Kaplan. A to vývojem tzv. vírové turbíny. Ta byla konstruována díky tomu, že využitelné spády současných řek jsou maximálně do 3 m, kde použití Kaplanových turbín již ekonomicky nevýhodné. Ani využití jiných principů vodních turbin není z hlediska hydraulické účinnosti a ekonomiky provozu (návrátosti investic) výhodné.

Vírová turbína zajistí ekonomický provoz s vysokou účinností a nízkými investicemi.

4.4.2 Princip činnosti

Vírová turbína je založena právě na opačném principu, než turbína Kaplanova. U Kaplanovy turbíny vstupuje voda do oběžného kola s předrotací, a proto je nutné použít drahého rozváděcího aparátu. U vírové turbíny voda vstupuje bez předrotace a tudíž není zapotřebí používat rozváděcího aparátu, což způsobí výraznou finanční úsporu. Dalším rozdílem oproti Kaplanově turbíně je výstup kapaliny s malou rotační složkou, proto nedochází k odtržení mezní vrstvy v savce. Turbína má pro daný výkon vyšší provozní otáčky a vyšší průběžné otáčky. Znamená to, že v mnoha případech není nutná převodovka.

4.4.3 Užití

Vírová turbína je přímoproudá turbína pro nízké spády a kvůli tomu že její oběžné kolo má pouze dvě lopatky, tak umožňuje zpracovávání relativně velkých průtoků. Turbína dosáhla účinnosti 85.5 %, při spádu 2.5m což ji řadí na přední místo v celosvětové konkurenci z hlediska účinnosti a výrobních nákladů.

4.4.4 Příklady vodních děl

Vírová turbína je ve fázi ověřovacích zkoušek na vodním díle.



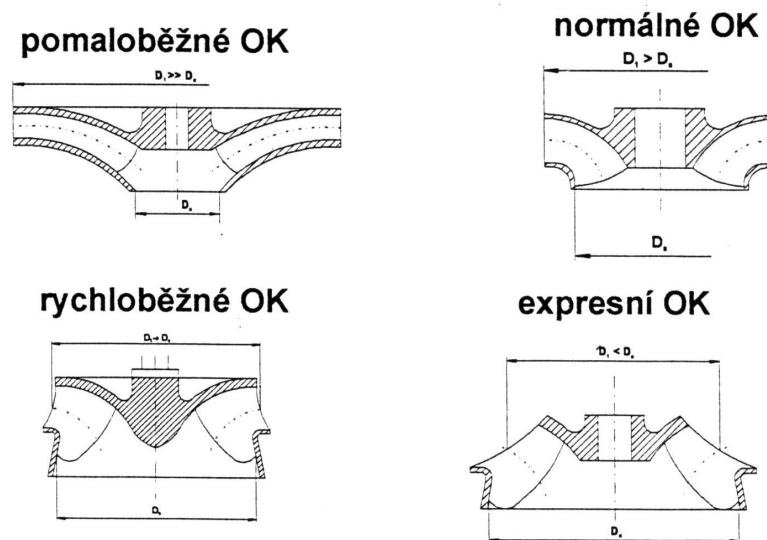
Obr. 4.10 Oběžné kolo vírové turbíny

5. Konstrukce vodních turbín

5.1 Francisova turbína

5.1.1 Oběžné kolo

Tvar oběžného kola v závislosti na hodnotě jednotkových otáček n_{11} může být pomaloběžný, normální, rychloběžný a expresní (Obr. 5.1). Tyto názvy nemají nic společného s rychlostí otáčení oběžného kola.



Obr. 5.1 Tvary oběžných kol

Podle konstrukce dělíme oběžná kola na:

- a) Kola s plechovými lopatkami zalitými do kotouče a věnce kola:

Tento způsob výroby se dnes používá velmi málo, díky zdokonalené slévárenské technice. Tyto kola mají menší pevnost, proto se nedoporučuje je používat pro spády větší než 60 m. Lopatky jsou lisované nebo kované v zápustkách.

- b) Kola s lopatkami litými z jednoho kusu:

Těchto lopatek se používá zejména pro vyšší spády, velká kola a výkony. Po odlití a vyžhání odlitku se musí lopatky i věnce ručně přebrousit. Pomaloběžná kola (Obr. 5.1) mají těžko přístupné kanály a z toho důvodu se dělají tyto kola především svařovaná. [1]



Obr. 5.2 Oběžné kolo

5.1.2 Rozváděcí ústrojí

Hlavním uzávěrem pro regulaci průtoku a tím i výkonu, jsou lopatky rozváděcího kola. K regulaci průtoku i výkonu stroje se ve většině případů používá natáčivých rozváděcích lopatek rozváděcího kola (tzv. Finkova regulace). Lopatky RK mají přivádět vodu k oběžnému kolu určitou rychlostí a určitým směrem po celém obvodu rovnoměrně. To znamená, že záleží pouze na výstupní části lopatek, přičemž od vstupní části žádáme, aby hydraulické ztráty byly co nejmenší.

Vnitřní regulace se volí pouze pro malé spády a pro turbíny menších rozměrů. Proto tlaky na lopatky nebývají velké. Z toho důvodu se lopatky odlévají ze šedé litiny. Protože rychlosti vody nebývají velké, lopatky se zpravidla neobrábějí. Lopatky jsou otočně nasazeny na čepech, které zároveň drží obě turbínová víka pohromadě. Lopatky jsou natáčeny regulačním kruhem pomocí ocelových tahálek a čepů.

Regulace vnější se používá u turbín větších rozměrů a při větších spádech. Lopatky se odlévají z oceli vcelku s čepem. Vzhledem k větším průtočným rychlostem se lopatky pro velké spády obvykle ručně přebušují. Pro největší spády a zvláště tam, kde voda s sebou nese jemný písek, se lopatky dělají z nerezavějící oceli, která odolává erozi.



Obr. 5.3 Vnější regulace rozváděcích lopatek

Regulační mechanismus se též používá jako zabezpečovací součásti proti poškození rozváděcích lopatek nebo jiných těžko vyměnitelných částí, jestliže mezi rozváděcí lopatky vnikne cizí těleso. Regulace může být buď mechanická ruční, nebo pomocí servomotorů. [1]

5.1.3 Spirála

Vstupní částí hydraulického profilu turbíny je spirála. Jejím úkolem je přivádět vodu do rozváděcích lopatek rovnoměrně po obvodu. Při malých spádech (max. 10 m) a při menších rozměrech stroje umísťují se turbíny do betonové kašny, nebo do spirální kašny. Od spádu asi 20 m se zhotovují spirály ze šedé litiny, nebo z lité oceli, nebo z ocelových plechů, nýtované nebo svařované. V tomto případě spirála zcela obklopuje rozváděcí kolo. Kvůli velkému namáhání se vnitřní otvor vyztužuje výztužnými lopatkami.



Obr. 5.4 Spirála Francisovy turbíny

5.1.4 Sací trouba

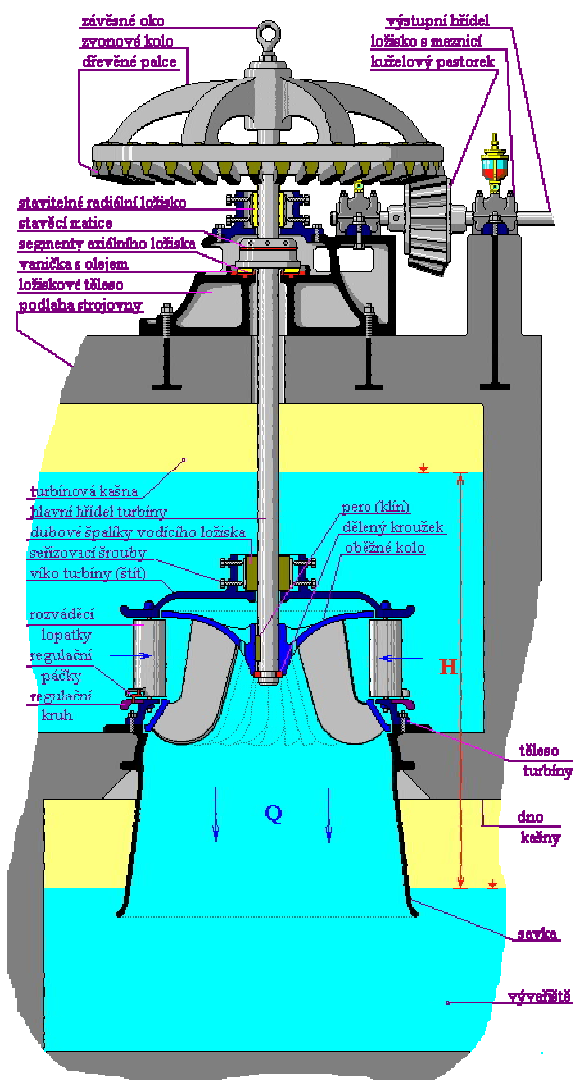
Oběžné kolo turbíny musí být umístěno nad hladinou spodní nádrže, a to tak vysoko, aby nebrodilo. Tím ztrácíme část spádu, o kterou leží výtokový průřez výše než spodní hladina. Voda v této části cesty volně padá, aniž koná užitečnou práci. Proto se uplatnila tzv. sací trouba. Turbína je i s oběžným kolem umístěna nad spodní hladinou, oběžné kolo je však obklopeno troubou, která je vzduchotěsně spojena s rozváděcím kolem a sahá až pod hladinu spodní vody. Sací trouba je za provozu zcela vyplněna sloupcem vody, který snižuje svou vahou tlak ve výstupním průřezu oběžného kola a umožňuje částečné využití výtokové rychlosti z oběžného kola.

Sací trouby, pokud to jsou přímé kuželové trouby, se vyrábějí z plechu. Tvarové trouby nebo jejich části se odlévají ze šedé litiny, jestliže se musí demontovat při revizi. Jinak se celé trouby odlévají z betonu. V tomto případě se pouze začátek trouby opancéruje plechem, kvůli erozi betonu. V každém případě je podmínkou funkce vzduchotěsnost sací trouby. [1]

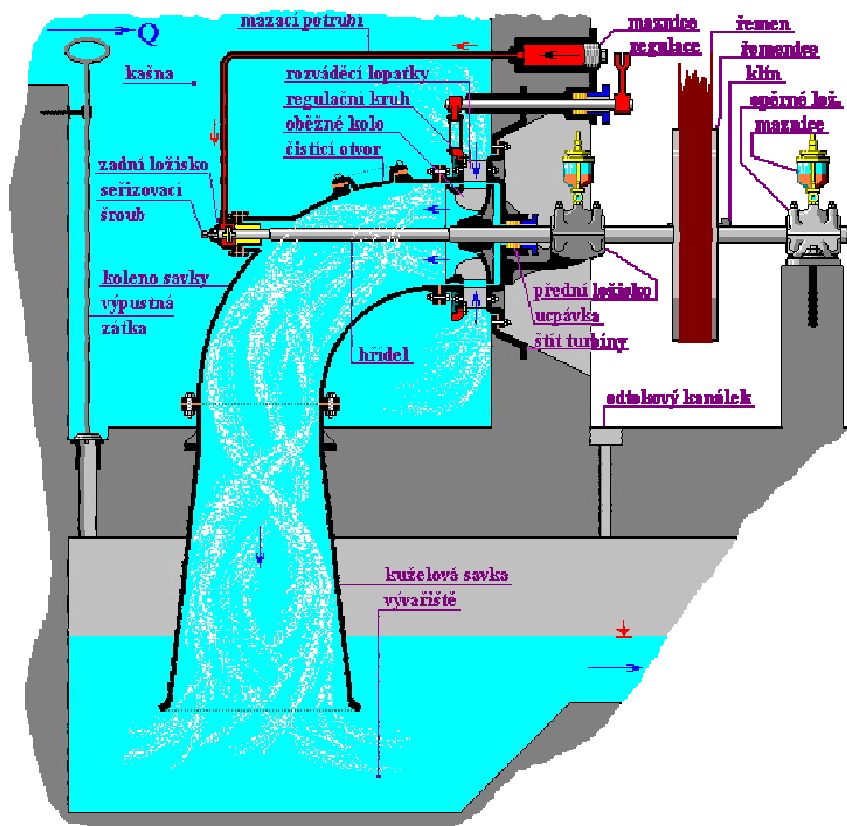
5.1.5 Příklady konstrukcí

Francisova vertikální turbína

Obr. 5.5
Vertikální provedení
Kaplanovy turbíny



Francisova horizontální turbína

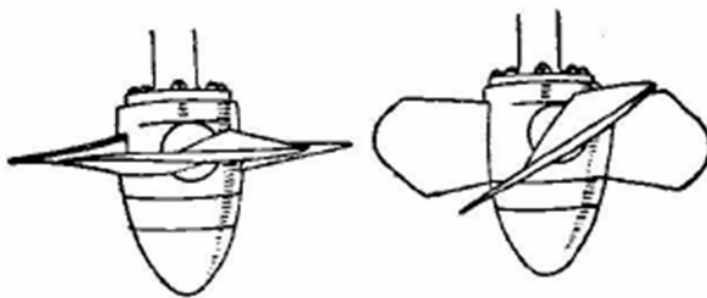


Obr. 5.6 Horizontální provedení Francisovy turbíny

5.2 Kaplanova turbína

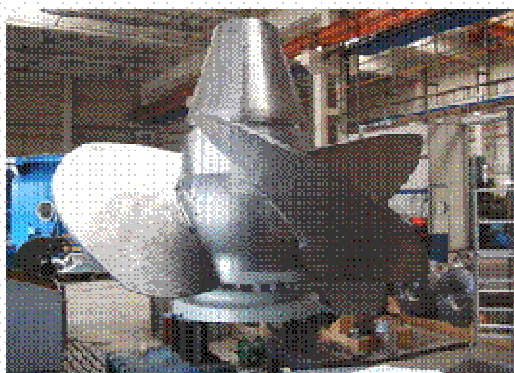
5.2.1 Oběžné kolo

Kaplanova turbína je typ vrtulové turbíny, která díky svým natáčivým lopatkám rozváděcího i oběžného kola může regulovat průtok i výkon turbíny. Tato kola obsahují malý počet lopatek, od 3 až 4 do 8 až 10.



Obr. 5.7 Natáčecí lopatky OK

Lopatky oběžného kola se většinou odlévají z ocelolitině nebo z nerezavějící oceli, podle toho jak jsou kavitačně namáhány. List lopatky se po odlití a tepelném zpracování celý čistě opracuje a vyhladí, jednak kvůli kavitační odolnosti a jednak proto, že rychlosti vody po lopatce jsou relativně velké a lopatka musí být hladká, aby nevznikaly velké ztráty třením. Lopatka se vyhlazuje ručně bruskou, pro hrubé opracování se hodí zvláštní kopírovací stroje. [1]



Obr. 5.8
Oběžné kolo Kaplanovy turbíny

5.2.2 Rozváděcí ústrojí

Řešení rozváděcího kola je stejné jako u Francisových turbín.

5.2.3 Zajištění proti proběhnutí

Turbína a s ní rotující části musí být konstruovány na nejvyšší otáčky, na které se může rozběhnout při selhání regulace, tedy na průběžné otáčky snížené ztrátami a ventilací generátoru.

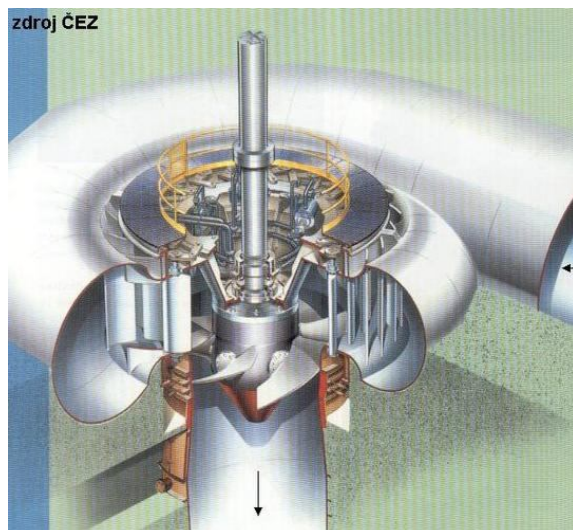
Omezení průběžných otáček je možné brzdícími lopatkami, které se vyklopí z náboje při dosažení stanovených otáček. V normální poloze jsou drženy pružinami, nebo páskem obepnutým kolem náboje, který se přetrhne vlivem odstředivých sil.

Dalším způsobem je omezení délky trvání průběžných otáček zabezpečovacím roztěžníkem, který při dosažení stanovených otáček zavře oběžné kolo bez zřetele k poloze rozváděcího kola. Tohoto způsobu se používá hlavně u velmi velkých turbín.

Dále je možno využít uzavření rozváděče. Zabezpečovací roztěžník přivede vysokotlaký olej na uzavírací stranu servomotorů rozváděcího kola. Závěr lze volit obvykle tak rychlý, aby se nedosáhlo plných průběžných otáček. [1]

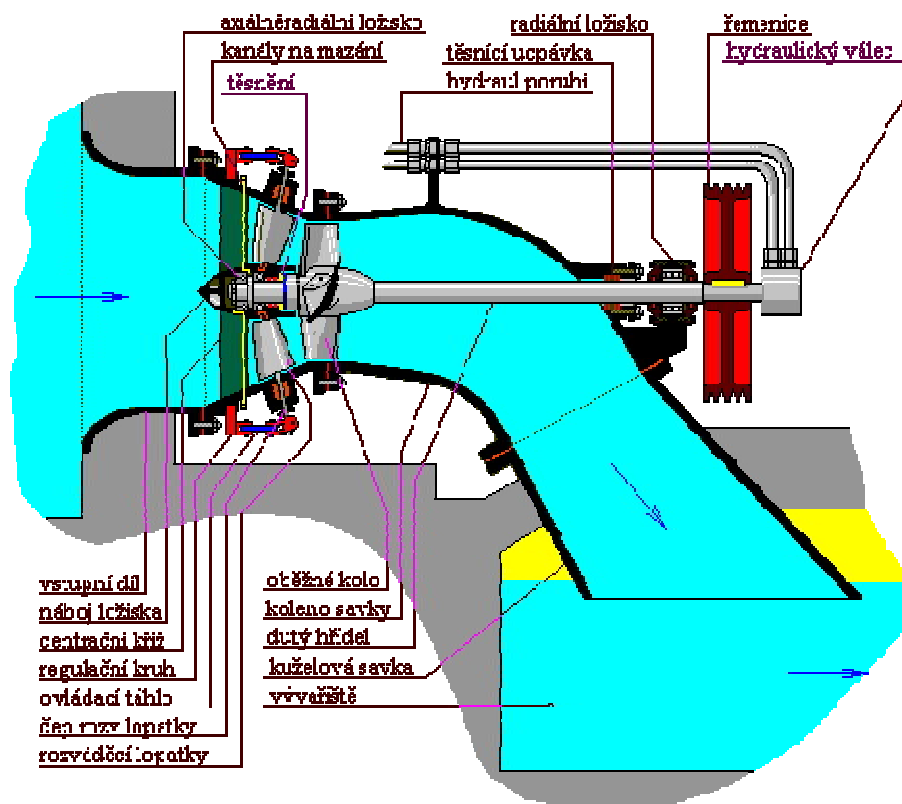
5.2.4 Příklady konstrukcí

✚ Kaplanova vertikální turbína



Obr. 5.9
Vertikální provedení Kaplanovy turbíny

Kaplanova horizontální turbína



Obr. 5.10 Horizontální provedení Kaplanovy turbíny

5.3 Peltonova turbína

5.3.1 Řešení rozvodného aparátu

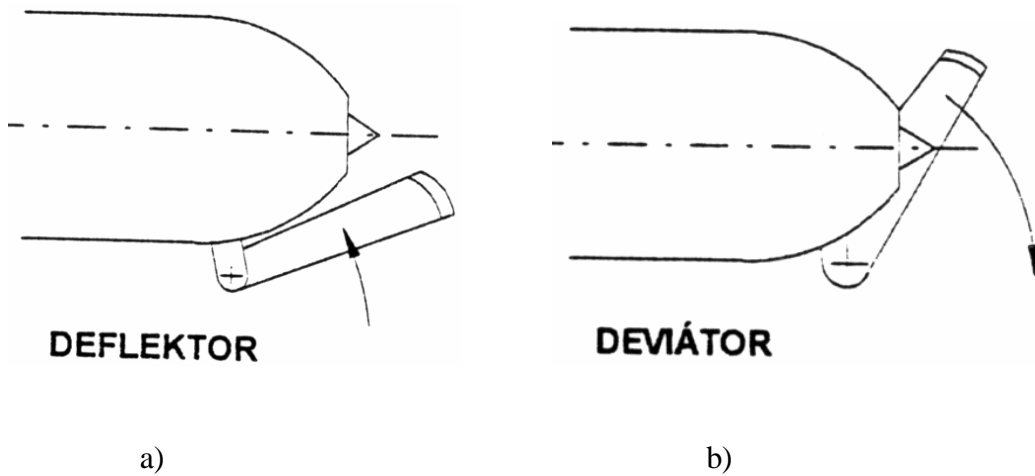
5.3.1.1 Deflektor a deviátor

U Peltonových turbín se výkon reguluje jako u jiných turbín změnou průtoku, a to uzavíráním nebo otevíráním výtokového otvoru dýzy jehlou. Tyto turbíny se konstruují s dvojitou regulací. Za ústím trysky je nainstalován deflektor nebo deviátor, který rychle zasáhne do paprsku, vychýlí jej z jeho dráhy a odvede do odpadu. Jehla pak zavírá pomalu, takže nenastane ráz v potrubí.

Deflektor (Obr. 5.11a) začne zabírat paprsek z vnější strany a k vychýlení musí vykonat zdvih rovnající se průměru paprsku.

Deviátor (Obr. 5.11 b) naproti tomu zabírá do paprsku z vnitřní strany a ke zmaření výkonu stačí poloviční zdvih, protože rozrušením horní poloviny paprsku se rozruší i dolní polovina.

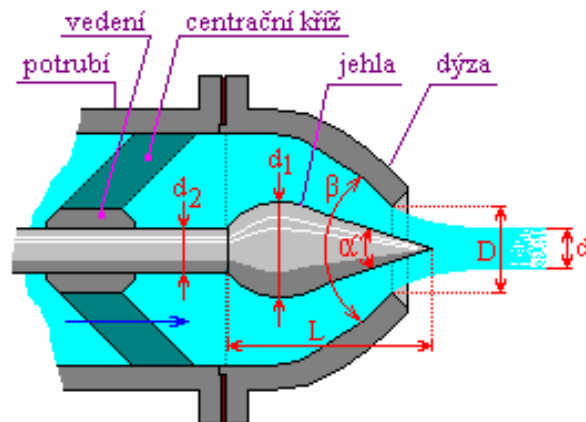
Nejčastěji se používá deflektoru, protože regulace je jemnější. Deflektor musí být vždy těsně u paprsku, aby mohl při regulaci rychle zasáhnout. [1]



Obr. 5.11 Deflektor a deviátor

5.3.1.2 Dýza a jehla

Tvar a kompaktnost paprsku závisí na tvaru jehly a hrdla dýzy. Nyní se všeobecně používá jehly a dýzy kuželového tvaru. Tento tvar je nejvýhodnější, protože paprsek se rychle spojí, není hrotem narušován a jehla nepodléhá tak značné erozi. Hrdlo dýzy a hrot jsou řešeny tak, aby byly vyměnitelné. Jehla se posouvá buď mechanicky, nebo hydraulicky servomotorem pomocí tlakového oleje. Hydraulický pohon je obvyklý při větších výkonech. [1]



Obr. 5.12 Dýza a jehla

5.3.2 Skříň

Úkolem skříň Peltonových turbín není pouze zachytit a odvést vodu odpadající z kola, ale v neposlední řadě také musí zachytit reakce dýz. V ose kola je skříň dělena, z důvodu přístupnosti kola po sejmutí horního krytu.

5.3.3 Oběžné kolo

Lopatky jsou k oběžnému kolu přišroubovány na disk, nebo je kolo s lopatkami vyrobeno z jednoho kusu. První případ umožňuje přesné vybroušení a vyleštění, výměnu vadných lopatek a odlití lopatek. Kola jsou vyráběny z litiny nebo ocelolitiny.



Obr. 5.13 Opracování lopatek



Obr. 5.14 Oběžné kolo

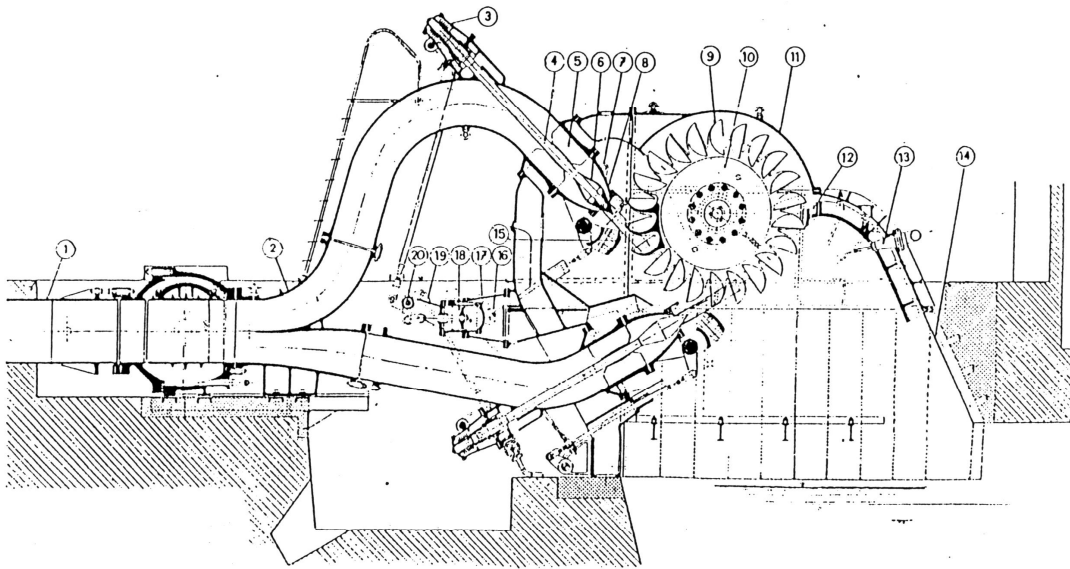
5.3.4 Příklady konstrukcí

- ✚ Peltonova turbína s jednou tryskou

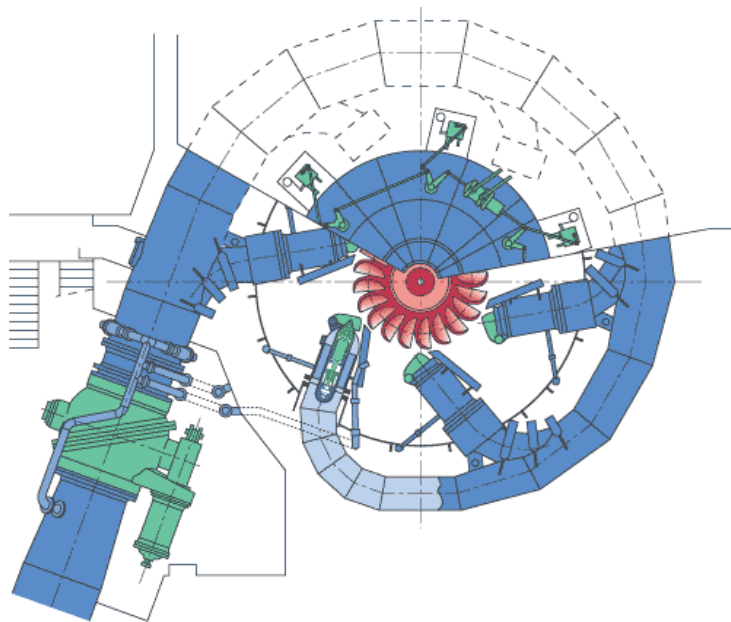


Obr. 5.15 Peltonova turbína s jednou tryskou

✚ Peltonova turbína s více tryskami



Obr. 5.16 Peltonova turbína s více tryskami a vodorovnou osou rotace



Obr. 5.17 Půdorys Peltonovy turbíny se svislou osou rotace

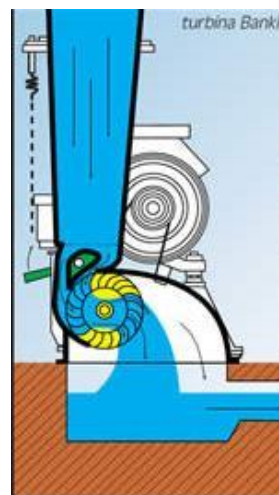
6. Závěr

Vodní turbíny jsou technicky nejdokonalejší mechanické motory vůbec. Výběr turbíny závisí na účelu a podmínkách celého vodního díla, a to zejména na spádu a průtoku.

Mimo vodní turbíny zmíněné v této práci existují i jiné druhy. Mezi ně patří Bánkiho rovnotlaká turbína. Oběžné kolo této turbíny připomíná mlýnské kolo, u kterého voda obtéká lopatky ve dvou směrech, kde voda přes lopatky vtéká dovnitř kola, odkud opět přes stejné lopatky vytéká na druhé straně ven. Dalším typem je Dériazova turbína, která vznikla úpravou kaplanovy turbíny. Je to přetlaková turbína, která umožňuje regulaci rozváděcími i oběžnými lopatkami, stejně jako Kaplanova turbína. Dále je to pak například turbína Savoniova, nebo Teslova



Obr. 6.1 Dériazova turbína



Obr. 6.2
Bánkiho Turbína

Zatímco jaderná energetika je relativně mladým oborem, vodní energie patří k nejstarším energetickým zdrojům. Vodní kola (zprvu horizontální a později vertikální) se už před tisíci lety používala pro nejrůznější účely.

Síla vodní energie dokáže vyrobit elektrický proud téměř zadarmo (za podmínky, že výstavba elektrárny a vodního díla s tím souvisejícího není příliš drahá).

V České republice nejsou ideální přírodní poměry pro budování vodních energetických děl. Naše toky nemají potřebný spád ani dostatečné množství vody. Proto je podíl výroby elektrické energie ve vodních elektrárnách zejména v porovnání s produkcí uhelných elektráren a jaderných elektráren poměrně nízký.

Výhodou vodních elektráren je šetrnost vůči přírodnímu prostředí. Vodní elektrárny neznečišťují ovzduší, nedevastují krajinu a povrchové či podzemní vody těžbou a dopravou paliv a surovin, jsou bezodpadové, nezávislé na dovozu surovin a vysoce bezpečné. Další předností těchto elektráren je pružné pokrývání spotřeby elektrické energie a schopnost přifázování do elektrifikační sítě s plným výkonem v několika minutách. Jednou z výhod je také akumulace vodní energie, prostřednictvím přečerpávacích vodních elektráren, které vyrábějí elektrickou energii v době její nejvyšší spotřeby, a mimo špičku při využití tzv. levné energie se voda čerpá zpět z dolní nádrže do horní.

Závěrem lze konstatovat, že dosud nebyl nalezen žádný zdroj elektrické energie, který by dokázal přechod z nulového na maximální výkon za tak krátkou dobu a to několik minut a tím i výbornou regulaci odběru elektrické energie. Tímto jsou vodní elektrárny nenahraditelné.

7. Seznam použitých zdrojů

- [1] NECHLEBA, Miroslav. Vodní Turbíny: Jejich konstrukce a příslušenství. Praha:Státní nakladatelství technické literatury SNTL, 1962. 672 s.
- [2] http://khzs.fme.vutbr.cz/~sob/skripta-vodni_turbiny/obsah_VT.html
- [3] http://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD_turb%C3%ADna
- [4] [http://www.vce.cz/cs/energie-a-zivotni-prostredi/energie-z-obnovitelnych-zdroju/vodni/vodni-elektrarny-cez-\(kratky-prehled-s-profilem-a-fotkou\).html](http://www.vce.cz/cs/energie-a-zivotni-prostredi/energie-z-obnovitelnych-zdroju/vodni/vodni-elektrarny-cez-(kratky-prehled-s-profilem-a-fotkou).html)
- [5] <http://mve.energetika.cz/>

8. Seznam použitých zkratk, symbolů a veličin

$n_{11} [s^{-1}]$	... jednotkové otáčky
$n_s [s^{-1}]$	... měrné (specifické) otáčky
$n [s^{-1}]$	... otáčky turbíny
$n' [s^{-1}]$	... otáčky hydraulicky podobné turbíny
$H [m]$	... spád turbíny
$H' [m]$	... spád hydraulicky podobné turbíny
$D [m]$	... charakteristický průměr turbíny
$D' [m]$	... charakteristický průměr hydraulicky podobné turbíny
$Q [m^3/s]$	... průtok turbíny
$Q' [m^3/s]$	... průtok hydraulicky podobné turbíny
$Q_{11} [m^3/s]$	... jednotkový průtok
$N_1 [W]$	... výkon při otáčkách n_1
$N_s [W]$	... výkon při otáčkách n_s